

V-140

寒冷地における沿岸コンクリートの劣化制御に関する2, 3の考察

大成建設(株) 正員 武田 均
 北海道大学工学部 正員 佐伯 昇
 北海道大学工学部 正員 藤田嘉夫
 室蘭工業大学工学部 正員 近藤俊郎

1. まえがき

寒冷地の沿岸コンクリートは、海水や積雪による水の供給があり、日射によるコンクリート中の水分の凍結融解が繰り返される環境にある。また、潮風による塩分の飛沫や海水の作用などによる腐食作用も受ける環境にあり、コンクリート構造物にとっては過酷な環境である。本研究では、施工後10年までの港湾構造物の凍結融解作用による表面剥離損傷と塩分浸透量についての調査結果をもとに、表面剥離損傷の推定式をたて、メンテナンス50年を考慮した配合要因について検討した。また、拡散方程式の利用により施工後50年の塩分浸透量を推定し、鉄筋腐食に対する安全なかぶり深さについて沿岸曝露実験も合わせて検討したものである。

2. 方法

2.1 凍害

1) 表面剥離損傷を表す指標

表面剥離による損傷は、剥離深さと面積を合わせてしばしば検討される。本研究でも、剥離深さと剥離面積の両方を考慮した指標として最大剥離度を用いることとした。

2) 最大剥離度の推定式

調査構造物の配合および環境要因を表-1に示す。推定式のモデルとして(1)式を用いた。

$$D^* = b_0 C^b N^{b_2} \quad \text{--- (1)} \quad \text{ここで、} D^* : \text{最大剥離度の推定値(mm)} \quad C : \text{単位結合材量(kg/m}^3\text{)}$$

$$N : \text{凍結融解回数(回)} \quad b_0, b_1, b_2 : \text{係数}$$

表-1 配合および環境要因

要因	セメントの種類	水セメント比	単位セメント量	構造物種	調査年および の件数
範囲	高炉セメントB種 フライアッシュセメントB種	0.45~0.55	233~365 (kg/m ³)	防波堤(上部工, 消波ブロック)	施工後1, 2, 10年, 177件

2.2 塩分浸透量の推定方法

塩分浸透量の推定にあたっては、Fickの第2法則として知られる拡散方程式を用いた。本研究では比較的マシな部材を考え境界条件として半無限体を想定し(2)式のような解を用いた。

$$C(x, t) = C_0 \left(1 - \operatorname{erf} \frac{x}{2\sqrt{D \cdot t}} \right) \quad \text{--- (2)}$$

ここで、初期条件 $C(x, 0) = 0$

境界条件 $C(0, t) = C_0$ (constant)

$C(x, t)$: 時刻 t (sec), 表面からの距離 x (cm) における塩分量 (kg/m³)

D : コンクリート中の見かけの塩素イオンの拡散係数 (cm²/sec)

C_0 : 表面塩分量 (kg/m³)

$$\operatorname{erf} x = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-u^2} du$$

(2)式より、拡散係数と表面塩分量を仮定すれば、任意の時間の任意の深さの塩分量を推定することが可能となる。しかしながら、拡散係数はコンクリートの硬化状態によって変化し、配合によっても一様ではないと思われる。そこで施工後50年の塩分浸透量を推定するにあたって、施工後10年の塩分浸透量によって求める拡散係数を使用することとした。配合要因の影響については、浸透に最も影響するものと思われる水セメント比を用

い、拡散係数との間に指数関係を仮定した。

3. 結果および考察

1) 最大剥離度の推定

(1)式の係数を最小自乗法で求めた結果を示すと、高炉セメント(BB)に対して(3)式、フライアッシュセメント(FB)について(4)式となった。図-1、図-2に実測値と推定値の関係を示す。

$$D^* = 10^{14.47} \times C^{-6.52} \times N^{0.731} \quad \text{--- (3)}$$

$$D^* = 10^{1.05} \times C^{-0.89} \times N^{0.574} \quad \text{--- (4)}$$

最大剥離度は、水セメント比が50%を越えると、大きな損傷が発生する傾向があった。そこで、水セメント比については50%を一つの限界値と考えた。また、単位セメント量との関係では、単位セメント量が少ないほど損傷が大きくなる傾向があったが、BBとFBを比較するとBBに顕著にこの傾向が表れていた。BBでは、一般にスラグ置換率が40%と大きいため、FB(フライアッシュ置換率15%)の場合よりも単位普通ポルトランドセメント量が少なくなるためであると思われる。しかしながら、BBとFBでは単位普通ポルトランドセメント量に対する損傷の度合いが違うため、損傷を推定する場合には両者を分けて考える必要があるものと思われる。50年の損傷として、表層部のモルタルが剥離する程度の剥離度(7mm)を一つの基準とした。

2) 塩分浸透量の推定

施工後10年の拡散係数は $10^{-8} \sim 10^{-7} \text{ cm}^2/\text{sec}$ であった。水セメント比と拡散係数の関係を図-3に示す。水セメント比が大きくなると拡散係数も大きくなる傾向が表れていた。指数式で近似すると、(5)式のようになった。

$$D = \text{EXP}(-12.3)(W/C)^{7.8} \quad \text{--- (5)}$$

このときの相関率は0.46であった。また、表面塩分量としては、安全側に、空気量4%のコンクリートが海水で満たされている状態の塩分量 0.82 kg/m^3 を用いることとした。安全なかぶりを推定するにあたっては、腐食に対して安全と考えられる塩分量の基準を 0.3 kg/m^3 とした。

4. まとめ

- 1) 剥離損傷の推定式から、50年で最大剥離度を7mmに抑えるセメント量を規定すれば表-2のようになる。
- 2) 施工後50年で鉄筋腐食に対して安全なかぶり深さを規定すれば表-3のようになる。

表-2 50年で剥離度を7mmに抑えるための単位セメント量

セメントの種類	水セメント比	単位セメント量(kg/m ³)	空気量(%)
高炉セメントB種	0.5	310	4.5
フライアッシュセメントB種	0.5	320	4.5

表-3 施工後50年で塩分濃度が0.3(kg/m³)となる表面からの深さ

水セメント比	拡散係数(cm ² /sec)	表面塩分量(kg/m ³)	空気量(%)	C=0.3(kg/m ³)となる深さ(cm)
0.45	9.05E-09	0.82	4.5	5.1
0.50	2.06E-08	0.82	4.5	7.7
0.55	4.32E-08	0.82	4.5	11.1

(謝辞)

本原稿をまとめるにあたって協力してくれた有馬伸広君、下西 勝君に深く感謝いたします。

(参考文献)

- 1) 佐伯, 鮎田, 前川: 北海道における海岸および港湾コンクリート構造物の凍害による表面剥離損傷, 土木学会論文報告集, 327, NOV. 1982.
- 2) 北海道開発局港湾部港湾課, 社団法人 寒地港湾技術センター: 昭和63年度 積雪寒冷地における港湾構造物の耐久性向上調査 中間報告, MAR. 1989.

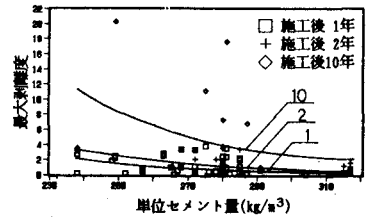


図-1 単位セメント量と最大剥離度の関係(BB)

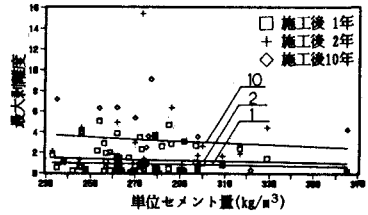


図-2 単位セメント量と最大剥離度の関係(FB)

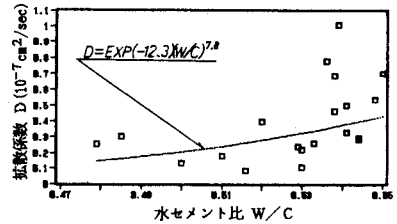


図-3 水セメント比と拡散係数の関係